

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВИДА КРИВОЙ УПРОЧНЕНИЯ НА ЛОКАЛИЗАЦИЮ ДЕФОРМАЦИИ

Ершов А.А.

Руководитель - докт. техн. наук, профессор Логинов Ю.Н.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого

Президента России Б.Н. Ельцина» г. Екатеринбург

unl@mtf.ustu.ru

В данной работе сделана попытка выполнить сравнительный анализ поведения металла с качественно различными тенденциями упрочнения или разупрочнения при приложении деформации.

Из анализа различных источников выяснилось, что многие материалы ведут себя как разупрочняющиеся среды или среды с более сложными законами упрочнения, например с проявлениями эффекта Портевена – Ле Шателье с циклически изменяющимися в функции степени деформации прочностными характеристиками.

Наиболее современным подходом к решению краевой задачи является применение метода конечных элементов. Для последующего анализа был применен программный комплекс QForm 2D/3D, разрабатываемый и поддерживаемый компанией ООО «КванторФорм». Этот комплекс позволяет задавать более широкий спектр свойств деформируемого материала.

Для последующего получения вариантов решения сформулирована следующая задача: как распределятся деформации при осадке цилиндра с классическим соотношением высоты к диаметру, равным 2 в трех вариантах постановки: среда неупрочняемая (идеально пластическая); среда упрочняемая; среда разупрочняемая.

Пластические свойства трех описываемых сред таковы, что при относительном обжатии $\varepsilon = 50\%$ упрочняемая среда упрочняется за счет изменения сопротивления деформации от $\sigma_{s0} = 100$ МПа до $\sigma_{s1} = 200$ МПа; ($\sigma_{s1} / \sigma_{s0} = 2$), разупрочняемая среда разупрочняется при изменении σ_s от 100 МПа до 50 МПа ($\sigma_{s1} / \sigma_{s0} = 0,5$), а неупрочняемая описывается постоянным значением σ_s равным 100 МПа ($\sigma_{s1} / \sigma_{s0} = 1$).

После моделирования были получены результаты: из полученных решений видно, что области затрудненных деформаций в зависимости от закона упрочнения оказываются различными. Для оценки неоднородности распределения деформаций применены несколько показателей: отношение D_6/D_k диаметра заготовки по бочке D_6 к диаметру по контактной поверхности D_k ; отклонение δ текущего показателя D_6/D_k от показателя, установленного для неупрочняемого материала; минимальная степень деформации по объему заготовки ε_{\min} ; максимальная степень деформации

по объему заготовки ε_{\max} ; соотношение максимальной и минимальной степеней деформации $k_\varepsilon = \varepsilon_{\max} / \varepsilon_{\min}$. Расчетные данные приведены в табл.1.

Как видно из приведенных данных, показатель неоднородности деформации D_δ / D_k во всех случаях оказался больше единицы, что говорит о большей скорости перемещения центральных слоев металла относительно приконтактных слоев. Большие различия в соотношении максимальной и минимальной степени деформации, описывает показатель k_ε : его различия достигают тысячекратных значений. Из таблицы видно, что наименьшее значение показатель k_ε имеет в случае осадки упрочняемого материала, т.е. деформация здесь наиболее однородна. Наибольшее значение показатель k_ε достигает при осадке разупрочняемого материала.

Таблица 1

Показатели неоднород. деформации при различных отношениях $\sigma_{s1} / \sigma_{s0}$

$\sigma_{s1} / \sigma_{s0}$	D_δ / D_k	$\delta, \%$	ε_{\min}	ε_{\max}	k_ε
0,5	1,204	+5,4%	0,00	3,23	9249,9
1,0	1,142	0	0,05	3,73	67,9
2,0	1,088	-4,7%	0,25	2,09	8,5

Для титановых сплавов, деформируемых при больших скоростях обработки, характерно наличие ниспадающего участка кривой упрочнения при степенях деформации выше 0,3...0,5. Для иллюстрации этого поставлена краевая задача осадки титанового сплава марки ОТ4 в двух вариантах решения. На рис.1 представлены кривые деформационного упрочнения этого сплава на основании исследования.

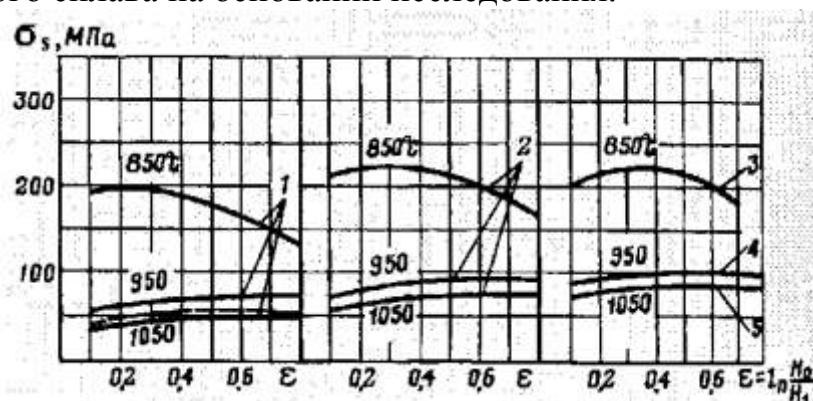


Рис.5. Кривые деформационного упрочнения титанового сплава ОТ4 при скорости деформации $\xi, \text{с}^{-1}$: :4(1); 23(2); 51(3) 51(4) и 47(5)

В первом варианте, при низкой температуре обработки 850°C и скорости деформации 4 с^{-1} материал выглядит как разупрочняемый. При

повышении температуры до 950°C и той же скорости деформации материал превращается в упрочняемый.

Расчеты выполнены при использовании программного модуля QForm-2D/3D. Результаты решения изображены на рис.2. Как видно из рисунков, наибольший объем зоны затрудненной деформации оказывается при деформации с пониженной температурой 850°C. При повышении температуры до 950°C зоны затрудненной деформации локализованы вблизи контактной поверхности и не распространяются вглубь заготовки.

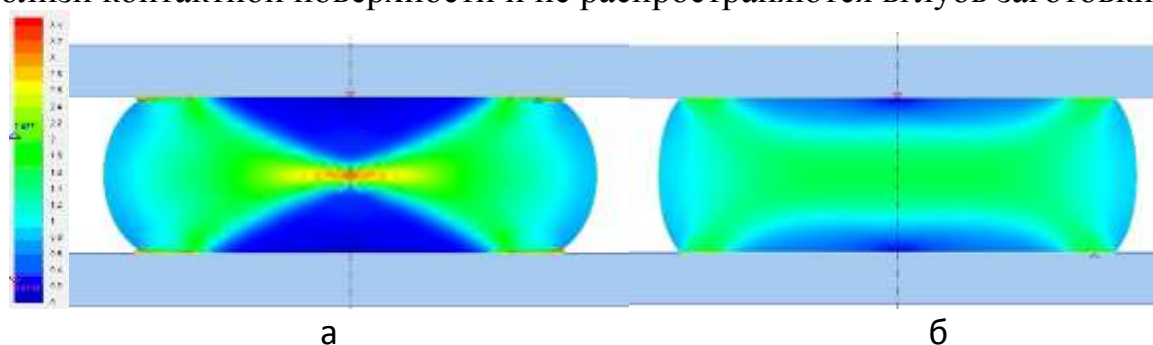


Рис.2. Области равного уровня степени деформации (значения на шкале) при осадке заготовки из сплава ОТ4 при температуре 850(а) и 950°C(б)

В табл.2 приведены показатели неоднородности деформации титанового сплава ОТ4 при различных температурах. Как видно из таблицы, наиболее высокое значение коэффициента k_ϵ равно 207,9 и оно характеризует состояние материала при 850°C. При повышении температуры до 950°C коэффициент k_ϵ снижается до 13,7, (уменьшение в 15 раз), т.е. схема деформации становится более однородной.

Таблица 2

Показатели неоднородности деформации титанового сплава ОТ4 при различных температурах

$t, ^\circ\text{C}$	D_6/D_k	$\delta, \%$	ϵ_{\min}	ϵ_{\max}	k_ϵ
850	1,158	+1,1%	0,031	6,445	207,9
Неупр. материал	1,142	0	0,05	3,73	67,9
950	1,101	-3,6%	0,180	2,458	13,7

Таким образом, результаты расчета формоизменения конкретного сплава ОТ4 подтверждают выводы первой части работы.

Выполненные расчеты показали, что наряду с контактными условиями трения и теплопередачи вид зависимости сопротивления деформации от степени деформации существенным образом влияет на однородность распределения деформации по объему заготовок из титановых сплавов при их осадке. Наибольшей однородностью деформации отличается схема деформации металла с возрастающей кривой упрочнения, наименьшей – с убывающей кривой упрочнения.